

## Заключение

Взаимодействие конструкторских и технологических отделов предприятия, для обмена информацией об изделии, может осуществляться с использованием объемных моделей деталей. Это позволяет, получить полное и быстрое представление о форме детали и дает возможность начать разработку оснастки для изготовления деталей не дожидаясь оформления и утверждения чертежей.

Конструкторская проработка будущего изделия является только частью подготовки производства. Не менее (а по затратам времени даже более) значительной является технологическая проработка. Конструктору необходимо помнить, что одним из главных факторов повышения конкурентоспособности продукции является технологичность изделия. Достигнуть нужных показателей позволяет разработка множества вариантов, полученных простыми и эффективными средствами. Следовательно, выбор CAD/CAM системы для использования зависит от того, как эффективно реализовано в них трехмерное моделирование.

### Список литературы

1. Пиликов Н.А., Юсупов Р.М., MCAD системы – разумная перспектива современности. RM-MAGAZINE, №№ 2,3/1998.
2. Хокс Б. Автоматизированное проектирование и производство: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 296 с., ил.

## ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ОСЕВЫХ ТУРБОМАШИН

Аронов Б.М., Керженков А.Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Более 25 лет в Самарском государственном аэрокосмическом университете (СГАУ) в тесном содружестве с двигателестроительными предприятиями России ведется разработка систем автоматизированного проектирования и производства лопаток осевых турбомашин. За эти годы разработано большое количество систем проектирования лопаток практически всех видов - компрессорных и турбинных, бандажированных и бесполочных, неподвижных, вращающихся и поворотных, а также заготовок

лопатов, процессов изготовления, объектов технологической подготовки производства. Достигнутые результаты (они частично освещены в монографии [1]) можно назвать впечатляющими. Однако в настоящей публикации речь пойдёт не об успехах, а о том, как следует усовершенствовать такие системы, чтобы повысить их эффективность и лучше приспособить к различным условиям инженерной деятельности.

В значительной степени неудовлетворённость заказчиков и самих разработчиков созданными системами заключается в отставании алгоритмов и программ проектирования от достигнутого уровня знаний, от новых технических решений. Такая ситуация типична для любых объектно-ориентированных САПР, характеризующихся высокой степенью автоматизации. По-видимому, это и явилось одной из основных причин того, что в последние годы предприятия в большей мере ориентируются не на такие системы, а на инструментальные средства компьютерного проектирования. такие, например, как CAD/CAM- системы CATIA, Unigraphics, AutoCAD, КОМПАС и др.

Фундаментальное отличие объектно-ориентированных САПР от инструментальных средств состоит в том, что первые могут быстро и качественно выполнять проекты изделий (и процессов) заранее определённых типов и схем почти без участия человека. Инструментальные средства, наоборот, могут успешно применяться в работе над совершенно новыми изделиями, но их интеллектуальный потенциал, возможность принимать решения находится на низком уровне, и вся творческая работа перекладывается на инженера-оператора. Модель процесса проектирования с использованием инструментальных средств, хотя и не обеспечивающая оптимизацию проектного решения, оказывается гораздо ближе к обычно принятой в проектных подразделениях организации труда. К тому же, вложив средства, сотрудники могут - без потерь времени на освоение - использовать приобретённые программные продукты, тогда как при заказе объектно-ориентированной САПР вложение средств и получение результата разделяет, обычно, много месяцев, а риск получить не то, что ожидалось, оказывается весьма значительным. В то же время, такие системы нельзя заменить инструментальными средствами, поскольку последние не приспособлены для проектирования процессов (полетов летательных аппаратов, движения других видов транспорта, процессов преобразования энергии в различных двигателях и установках и т.д.), на основании которых только и могут формироваться конструкции изделий, не

приспособлены для оптимизации проектных решений по различным локальным и системным критериям качества, не включают в себя опыт заказчика по решению инженерных задач в различных проектно-доводочных ситуациях.

Выполненный краткий анализ особенностей и возможностей двух типов программного обеспечения позволяет выделить очевидное направление совершенствования разрабатываемых САПР – повышение их гибкости, придание им, хотя бы частично, свойств инструментальных программных средств.

Рассматривая вопросы повышения жизнеспособности САПР лопаток турбомашин, обратим внимание и на такие аспекты, как повышение уровня интеллектуальности систем и более рациональную их организацию.

### **Повышение гибкости систем автоматизированного проектирования лопаток**

Вопрос проектирования лопаток – один из важнейших для фирм, создающих турбины и компрессоры. Из-за многоаспектности задачи, требующей для обоснования конструкции лопатки знаний специалистов по газовой динамике, теплопередаче, статической и динамической прочности, по технологии заготовительных и основных производств, проблема автоматизации проектирования и оптимизации структур и параметров таких ответственных деталей еще полностью не решена, хотя в "арсеналах" конструкторских бюро накоплено большое число программ для ЭВМ, прежде всего, по построению контуров профилей и различным аспектам анализа сформированных специалистом конструкций.

Опыт, накопленный сотрудниками отраслевой научно-исследовательской лаборатории комплексных САПР лопаток турбомашин СГАУ, убеждает в том, что для повышения эффективности автоматизированного решения инженерных задач в различных ситуациях, сопровождающих процесс создания компрессора или турбины, САПР лопаток должна включать в себя подсистемы проектирования функциональных элементов из частей лопаток и сопрягаемых с ними деталей [2]. Применительно к САПР рабочих лопаток турбин в таких подсистемах проектируются лопаточные венцы (ЛВ), непосредственно преобразующие энергию газа в мощность турбины, полочные бандажи (БЖ), устройства крепления (УК) лопаток в дисках; полученные результаты передаются в подсистему



формирования конструкций лопаток. Гибкость всей системе придает наличие внутрисистемной базы данных (архива).

Тем не менее опыт внедрения САПР лопаток в проектных организациях и на промышленных предприятиях отрасли показал, что применение "чужих", пусть даже надежных программ встречается с большими, часто непреодолимыми трудностями. Причины понятны: результаты "своих" расчетов в течение многих лет соотносятся с данными экспериментов и результатами эксплуатации изделий. Им верят, знают как их корректировать. "Чужие" программные продукты объективно требуют тщательного тестирования, что весьма сложно и долго.

Выход из описанного положения - по возможности, включать в создаваемые системы программные продукты заказчиков. Такой путь чаще всего и использовался при создании САПР лопаток. Однако при включении программ заказчика в создаваемую для него же систему возникает, по крайней мере, две проблемы. Первая - для полноценной интеграции разнородных программ по существующей технологии наличие методик и исходных текстов является весьма желательным, иногда - необходимым. Но передача исходных текстов программ всегда затрагивает авторские права их разработчиков, возможно, связана с утратой предприятием своего "know how". Вторая проблема - разнообразие условий и ситуаций, в которых на предприятиях используются отдельные программы и программные комплексы. Обычно учет условий осуществляется в программах включением разнообразных признаков и прямой доработкой текстов программ, чаще всего с изменением состава исходных данных, что требует корректировать интерфейс пользователя с системой.

Представляется, что названные проблемы в большей или меньшей степени можно преодолеть, если изменить подход к построению систем.

Укажем задачи, которые должен решать новый подход:

- обеспечивать возможность включения в разрабатываемые и разработанные САПР программных модулей силами самих заказчиков, возможно, при наличии консультаций разработчиков оболочки системы;
- предоставлять заказчику использовать его отдельные программы и их комплексы, включенные в систему, так же свободно, как и автономные программные продукты;
- составлять из включенных в систему программ новые комбинации для решения возникающих задач.



Очевидно, что столь большую гибкость невозможно обеспечить с помощью интерфейса, основанного на детерминированном (заранее predetermined) алгоритме. Тем не менее ситуация не тупиковая. Надежды на её успешное разрешение дают интенсивно развивающиеся сейчас технологии комплексирования программ и целых систем на платформе Windows, например, такие как CASE-технологии, Спрут-технологии, создание т.н. решателей задач, позволяющих по совокупности входных и выходных данных построить необходимую цепочку программных модулей.

Повышению мобильности и гибкости САПР лопаток турбомашин будет способствовать организация единого информационного пространства системы и переход от файловой структуры к работе под управлением СУБД.

Значительная роль в решении указанных задач, без сомнения, будет принадлежать оригинальным, разрабатываемым создателями системы программным средствам. Эти средства должны обеспечить доступ пользователю к входным и выходным данным интересующих его программ, возможность удобного изменения и дополнения данных в случае подключения новых программ или замены имеющихся и возможность быстро разрабатывать интерфейсные программы для подключения новых модулей без вмешательства в исходные тексты существующего программного обеспечения системы.

### **Повышение уровня интеллектуальности САПР**

Об интеллектуальности объектно-ориентированных САПР свидетельствуют, в частности, заложенные в них возможности избегать в ходе поиска решения лишних итераций. Это достигается разными путями. Например, а) обоснованным прогнозированием прочностных ограничений на проектом режиме при известных условиях функционирования объекта за цикл работы машины; б) априорным анализом самой возможности получить допустимое проектное решение при заданных значениях неварьируемых параметров; в) рациональным сочетанием численных методов оптимизации с эвристическими приемами. Опыт использования перечисленных путей в САПР БЖ свидетельствует о возможности получить уникальный эффект по сокращению времени поиска.

К сокращению времени поиска (при той же степени достоверности) ведет снижение уровня модели анализа "вышестоящего" объекта при оптимизации параметров проектируемого объекта по системному критерию качества. Об этом свидетельствует заложенная в САПР УК оптимизация параметров устройств крепления лопаток по минимуму массы колеса с разными по уровню моделей анализа прочности полотна диска.

Нередко проектируемые конструкции и моделируемые процессы описываются математическими выражениями, значения коэффициентов в которых отражают опыт неавтоматизированного проектирования. Со временем принятые значения устаревают и перестают соответствовать новому уровню знаний. В этом случае для модернизации САПР требуются изменения в текстах программ, что часто оказывается затруднительно, если системы не сопровождаются разработчиками.

Характерным примером описанной ситуации является использование в САПР лопаток программы выбора параметров профилей, обеспечивающих высокое газодинамическое совершенство проектируемых решеток. С накоплением опыта эксплуатации турбомашин представления об оптимальных значениях параметров профилей изменяются и требуется корректировка программ. Однако такая корректировка с успехом может быть возложена на сам программный комплекс, если в базе данных проектов, признанных лучшими, будет сохраняться необходимая информация. В этом случае возможна автоматическая «подстройка» коэффициентов в эмпирических формулах выбора оптимальных параметров, а сам процесс организован как самообучение системы. Причём самообучение с «инерцией», определяющей величину изменения старого значения, несущего на себе отпечаток длительного прошлого опыта, в сторону нового, отражающего воззрение на эффективность решёток в последнем выполняемом проекте.

Такое самообучение повышает интеллектуальность автоматизированных систем, способствует их более длительному и успешному использованию.

Поскольку создаваемые САПР должны быть приспособлены не только к поиску и документированию новых оптимальных проектов, но и для их коррекции по результатам доводочных испытаний, необходимо создавать в составе средств информационного обеспечения экспертные системы (ЭС) с базами данных и знаний. Опыт использования САПР ЛВ, САПР БЖ и САПР УК в качестве "стендов" для проведения имитационных экспериментов показал возможности, не прибегая к физическим экспериментам, выявлять новые знания об объектах и насыщать этими знаниями ЭС [3].

## Рациональная организация САПР лопаток турбомашин и её связей с инструментальными средствами CAD/CAM-систем

Одним из важных вопросов при создании САПР является вопрос об уровне используемых моделей и стратегии их применения. Если несколько лет назад ограниченное быстродействие ЭВМ вынуждало при выполнении проектных расчетов использовать модели невысокого уровня и лишь контроль результатов проводить на "медленных" точных моделях, то с ростом быстродействия акцент при построении систем может быть сделан на более широком применении моделей высокого уровня уже на стадии проектирования и поиска рационального решения. Если ранее не представлялось возможным включить в итерационный процесс поиска оптимальных параметров решёток профилей программы расчета потерь механической энергии, то сейчас мощность современных ПЭВМ даёт такую возможность. Имеется и реальная возможность оценки и *обеспечения* прочности, например, подплочного сечения бандажированной рабочей лопатки турбины на основе анализа по методу конечных элементов.

При этом важную роль играет выбор рациональной стратегии применения моделей высокого уровня. Процесс проектирования должен быть организован таким образом, чтобы программы анализа, работающие достаточно продолжительное время, подключались только после того, как на моделях более низкого уровня подтверждена работоспособность проектируемого элемента. Очевидно, не рационально добиваться высокой эффективности решёток с применением точных моделей газодинамического анализа, до тех пор пока на «быстрых» моделях прочности не будет показана правильность оценки, например, максимальной толщины профиля.

Из-за взаимного влияния параметров ЛВ, БЖ и УК целесообразно в процессе поиска решения изменять степень подробности проектирования этих функциональных элементов. Так, чтобы, используя САПР УК, убедиться в возможности сформировать допустимую конструкцию при выбранном в ЛВ числе лопаток, нет необходимости проектировать венец по всем сечениям и подробно анализировать само устройство крепления лопаток в диске. Т.е., по существу, в процесс рабочего проектирования лопаток следует включить стадию эскизного проектирования.

Таким образом, для повышения эффективности САПР поиск решения целесообразно организовать как многоэтапный процесс постепенного уточнения параметров конструкции - сначала с применением эмпирических зависимостей, затем с использованием «быстрых» моделей анализа и, наконец, моделей высокого уровня. Такой, в общем-то, понятный



подход оказывается не столь уж просто реализуем, если учесть, что в ходе проектирования лопатки решается добрый десяток задач, каждая из которых может рассматриваться на своём уровне, и степень достоверности решения этих задач должна быть взаимно увязана.

Для эффективного использования САПР лопаток в такие системы должна автоматически передаваться информация об общих требованиях к создаваемому компрессору (или турбине), прежде всего, о режимах эксплуатации, суммарном ресурсе и приоритетном критерии качества, результат газодинамического проектирования (из САПР рабочих процессов) и результаты эскизного проектирования машины, которое целесообразно выполнять средствами CAD/CAM-систем. В свою очередь, решения, полученные в САПР лопаток, следует научиться автоматически передавать в систему газодинамического анализа ЛВ по моделям пространственного течения и в систему анализа прочности ЛВ, БЖ и УК по методу конечных элементов, а итоговое решение по принимаемой конструкции лопаток - в системы проектирования объектов технологической подготовки их производства.

В заключение отметим, что обозначенные выше направления развития объектно-ориентированных САПР, в частности, САПР лопаток турбомашин, конечно, повысят их конкурентоспособность и обеспечат более полное взаимодействие с бурно прогрессирующими инструментальными программными средствами.

#### Список литературы

1. Автоматизация проектирования лопаток авиационных турбомашин (методология, алгоритмы, системы) / Б.М.Аронов, В.А.Камынин, А.Г.Керженков и др. Под ред. Б.М.Аронова - М., Машиностроение, 1994. - 240с.
2. Аронов Б.М. О технологии автоматизированного проектирования конструкций деталей машин // Управляющие системы и машины. 1985. №1 с.29-34.
3. Аронов Б.М. САПР в роли АСНИ. Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Проблемы и перспективы развития двигателестроения в Поволжском регионе", Самара, СГАУ, 1997. С. 8-10.